

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Dasar Teori Perancangan

Dalam merencanakan sebuah bangunan tahan gempa dengan material baja canai dingin, diperlukan dasar teori yang baik dan tepat. Bangunan tahan bahan gempa dengan material baja canai dingin merupakan konstruksi bangunan dengan hampir keseluruhan strukturnya yang terbuat dari material baja canai dingin (baja ringan), sehingga dalam pengerjaannya harus digunakan penerapan dari ilmu rangka batang. Setelah mengetahui hal tersebut, harus dilakukan analisa perhitungan pembebanan terutama dalam beban gempa rencana yang tepat dengan memperhatikan konsep desain bangunan yang akan direncanakan.

##### 2.1.1 Gempa Bumi

Bangunan tahan gempa adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahan lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (BMKG, 2014).



**Gambar 2.1 - Peta Zonasi Gempa Indonesia**  
Sumber : [www.puskim.pu.go.id](http://www.puskim.pu.go.id)

### 2.1.2 Penggunaan Peraturan Standar Nasional Indonesia

Dalam perencanaan bangunan rumah tahan gempa 2 lantai ini, digunakan beberapa SNI yang berlaku di Indonesia, yaitu SNI 7971:2013 tentang Struktur Baja Canai Dingin sebagai dasar perencanaan konstruksi, SNI 1727:2013 sebagai dasar teori dalam menentukan pembebanan minimum dalam konstruksi ini, serta SNI 1726:2012 tentang Tata Cara perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung.

Dalam perencanaan sebuah bangunan rumah bertingkat tahan gempa tentunya harus memiliki analisa perhitungan struktur yang baik mengenai perhitungan beban rencana dan penggunaan material bangunan, sehingga dapat menjamin keamanan dan kenyamanan gedung ketika terjadi pengaruh alam sekitar bahkan saat terjadi gempa bumi sekalipun.

### 2.1.3 Konsep dan Filosofi Bangunan Tahan Gempa

Perencanaan konvensional bangunan tahan gempa adalah berdasarkan konsep bagaimana meningkatkan kapasitas tahan struktur terhadap gaya gempa yang bekerja padanya. Misalnya dengan menggunakan *shear wall*, sistem rangka pemikul momen, sistem rangka dengan bresing dan sebagainya.

Filosofi perencanaan bangunan tahan gempa yang di adopsi hampir seluruh negara di dunia mengikuti beberapa ketentuan yang telah di tetapkan, yaitu sebagai berikut.

- a. Pada gempa kecil, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan.
- b. Pada gempa menengah, komponen struktur tidak boleh rusak, namun komponen non struktural diijinkan mengalami kerusakan.
- c. Pada gempa kuat, komponen struktural boleh mengalami kerusakan, namun bangunan tidak boleh mengalami keruntuhan.

Selain ketiga filosofi diatas yang selalu di adopsi dalam suatu perencanaan bangunan tahan gempa, ada beberapa konsep bangunan tahan gempa yang perlu diperhatikan dalam perencanaan bangunan tahan gempa, yaitu sebagai berikut.

## 1. Bahan harus memenuhi syarat

Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) tidak boleh kurang dari 20 Mpa. Kuat tekan 20 Mpa atau lebih dipandang menjamin kualitas perilaku beton) (Purwono, 2005). Sedangkan untuk beton ringan, kuat tekan tidak boleh melampaui 30 Mpa. Beton agregat ringan dengan kuat tekan rencana yang lebih tinggi boleh digunakan bila dapat di buktikan dengan pengujian bahwa komponen struktur yang dibuat dari beton agregat tersebut mempunyai kekuatan dan ketegaran yang sama atau lebih dari komponen struktur setara yang dibuat dari beton agregat normal dengan kekuatan yang sama.

Selain kuat tekan beton harus memenuhi syarat, tulangan yang digunakan pada komponen struktur yang merupakan bagian dari sistem gempa harus memenuhi syarat dimana tulangan lentur dan aksial yang digunakan harus memenuhi ketentuan ASTM A 706.

## 2. Balok lemah – kolom kuat

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa alangkah baiknya merencanakan keruntuhan yang aman, yaitu *beam side way mechsism*. *Beam side way mechsism* hanya tercapai bila kekuatan kolom lebih besar dari kekuatan balok, sehingga sendi plastis terjadi di balok (*capacity design, strong coloumn weak beam*).



(a)

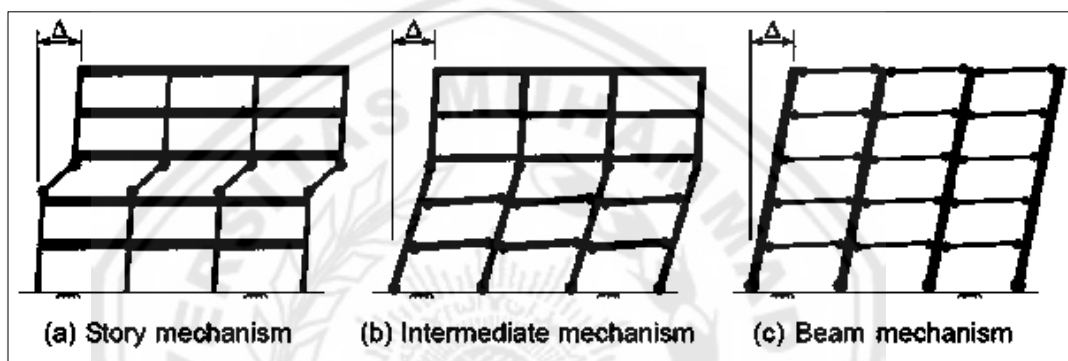


(b)

**Gambar 2.2** – (a) Weak column strong beam (b) Strong column weak beam

Sumber : [www.perencanaanstruktur.com](http://www.perencanaanstruktur.com)

Mekanika kerja Strong Coloumn Weak yaitu pada saat struktur mendapat gaya lateral gempa, distribusi kerusakan sepanjang ketinggian bangunan bergantung pada distribusi *lateral story drift* (simpangan antar lantai). Jika struktur memiliki kolom yang lemah, simpangan antar lantai akan cenderung terpusat pada satu lantai (*soft story effect*) seperti ditunjukkan pada gambar A. Sebaiknya jika kolom lebih kuat daripada balok (*strong column weak beam*), maka drift akan tersebar merata dan keruntuhan lokal di satu lantai dapat diminimalkan (Gambar B dan C) pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 – Perilaku struktur saat mendapat gaya lateral gempa  
 Sumber : [www.perencanaanstruktur.com](http://www.perencanaanstruktur.com)

Kinerja struktur terhadap gempa memiliki beberapa masalah yang harus di tanggapinya agar nilai keamanan lebih terjamin. Hubungan balok-kolom merupakan daerah rawan terhadap gaya lateral terutama gempa. Karena tempat tersebut merupakan daerah yang memiliki momen dan gaya geser yang besar yang dapat melelehkan struktur dan terjadi kegagalan.

### 3. Deformasi harus terkontrol

Deformasi yang bterkait pada komponen elemen struktur harus ditentukan. Dalam SNI 1726 : 2012, pasal 7.1.2 disebutkan bahwa deformasi struktur tidak boleh melebihi batasan yang ditetapkan pada saat struktur tersebut dikenai gaya gempa desain.

#### **4. Hubungan balok dan kolom**

Integritas menyeluruh Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) sangat tergantung pada perilaku Hubungan Balok dan Kolom (HBK). Degradasi pada HBK akan menghasilkan perubahan bentuk / deformasi lateral yang dapat menyebabkan kerusakan bahkan keruntuhan.

#### **5. Pondasi harus lebih kuat dari bangunan atas**

Pondasi merupakan struktur bagian bawah yang berfungsi untuk menyalurkan beban vertikal di atasnya (kolom) maupun beban horisontal ke tanah. Struktur bawah (pondasi) memikul beban-beban dari struktur atas sehingga struktur bawah (pondasi) tidak boleh gagal terlebih dahulu dari struktur atas.

Menurut SNI 1726:2012, pasal 7.1.5 disebutkan bahwa pondasi harus didesain untuk menahan gaya yang dihasilkan dan mengakomodasi pergerakan yang disalurkan ke struktur oleh gerak tanah desain. Desain detail kekuatan struktur bawah harus memenuhi persyaratan beban gempa rencana.

#### **2.1.4 Sistem Rangka Pemikul Momen**

Konsep sistem rangka pemikul momen mengembangkan dari kemampuan menahan beban gempa melalui kuat lentur komponen struktur balok dan kolom.

Terdapat 3 jenis sistem rangka pemikul momen menurut SNI 1726:2012, antara lain :

- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)
- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
- c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Dalam SNI 03-2847:2002 disebutkan bahwa untuk daerah dengan resiko gempa menengah, harus digunakan sistem rangka pemikul momen khusus atau menengah, atau sistem dinding struktural biasa atau khusus untuk memikul gaya-gaya yang diakibatkan oleh gempa.

Sedangkan untuk daerah resiko gempa tinggi, harus digunakan sistem rangka pemikul momen khusus, atau sistem dinding struktural beton khusus, dan diafragma serta rangka batang.

### **2.1.5 Konsep Bangunan Ramah Lingkungan**

Pemanasan global menjadi ancaman dan perhatian serius bagi seluruh penghuni bumi. Penghematan energi bisa dilakukan mulai dari hal-hal terkecil, termasuk dari konsep desain rumah. Konsep desain rumah ramah lingkungan menjadi salah satu cara penghematan energi, dengan mendesain rumah sehingga dapat meminimalisir penggunaan pendingin ruangan dan pencahayaan ruangan. Seperti yang kita ketahui bahwa rumah tinggal merupakan tempat yang sangat menyerap penggunaan energi terbesar setelah industri.

Rumah ramah lingkungan dapat dilihat dari segi desain yang efisiensi pencahayaan yaitu dengan memanfaatkan secara maksimal cahaya matahari sebagai sumber cahaya di pagi dan sore hari. Pencahayaan alami diperoleh dari pencahayaan samping yaitu jendela dan pencahayaan atas yang berasal dari lubang atap serta mengurangi sekat ruang sehingga dapat memaksimalkan cahaya yang akan masuk ke dalam rumah. Selain dapat memaksimalkan cahaya yang masuk ke dalam rumah, dengan efisiensi ruang juga akan memudahkan kontrol aspek lingkungan terhadap bangunan tersebut. Selain dari aspek desain rumah ramah lingkungan, juga dapat dilihat dari segi material bahan bangunan yang digunakan, yaitu dengan menggunakan bahan bangunan seperti kusen jendela, kusen pintu dan rangka atap yang dapat digantikan dengan alumunium / PVC dan baja ringan sebagai bahan konstruksi lainnya.

Adapun faktor-faktor yang mendukung sebuah rumah menjadi rumah ramah lingkungan, antara lain :

- a. Kusen, daun jendela, dan pintu menggunakan material kayu
- b. Plafond menggunakan gypsum dan rangka kayu
- c. Atap tinggi, hal ini untuk memperluas sirkulasi udara yang berada di dalam rumah.

- d. Tritisian harus dibuat lebih lebar
- e. Banyak bagian ruang yang terbuka
- f. Pemasangan kanopi di tiap jendela
- g. Luas bangunan sebaiknya tidak lebih dari 60% dari luas lahan yang ada.



*Gambar 2.4 – Sikulasi udara dengan bukaan yang tepat  
Sumber : [homeindie.blogspot.com](http://homeindie.blogspot.com)*

#### **2.1.6 Struktur Baja Canai Dingin**

Dalam merencanakan bangunan dengan material baja canai dingin tentunya harus mengikuti peraturan yang berlaku, yaitu dengan menggunakan peraturan SNI 7971:2013. Standar ini mengatur persyaratan minimum untuk mendesain komponen struktur yang dibentuk secara canai dingin dari bahan baja karbon atau *low-alloy* berbentuk lembaran, setrip, pelat ataupun batangan dengan ketebalan tidak lebih dari 25 mm, serta digunakan untuk memikul beban pada bangunan gedung. Standar ini juga dapat digunakan untuk struktur-struktur selain bangunan gedung asalkan dilakukan penyesuaian-penyesuaian terhadap efek-efek dinamis.

Standar ini tidak berlaku untuk desain struktur yang rentan terhadap kebakaran dan fraktur getas.

### 2.1.7 Konsep Bangunan dengan Material Baja Canai Dingin

Seiring dengan perkembangan dalam dunia pembangunan yang dapat dikatakan sangat pesat ini, material baja canai dingin mulai marak digunakan dalam merencanakan sebuah konstruksi bangunan. Dalam merencanakan sebuah bangunan dengan material canai dingin juga harus menerapkan beberapa konsep yang berlaku, agar setiap bagian struktur dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan fungsinya masing-masing.

Adapun beberapa konsep bangunan yang harus diterapkan dalam sebuah konstruksi bangunan, yaitu sebagai berikut.

#### 1. Material

Baja yang digunakan untuk manufaktur harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

- 1) AS 1163, AS 1397 ( tidak memenuhi mutu G550 dengan ketebalan kurang dari 0,9 mm), AS/NZS 1594, AS/NZS 1595, dan AS/NZS 3678, tergantung yang sesuai; dan
- 2) Baja-baja lain, yang propertinya sesuai dengan pasal 1.5.1.4 tegangan leleh ( $f_y$ ) dengan tegangan tarik ( $f_u$ ) yang digunakan dalam desain harus ditentukan sesuai dengan bab 8 dan AS 1391.  
(SNI 7971:2013)

#### 2. Tegangan Desain

Tegangan leleh minimum ( $f_y$ ) dan kekuatan tarik ( $f_u$ ) yang digunakan dalam desain tidak boleh melebihi nilai-nilai yang diberikan dalam tabel 2.19 untuk mutu baja yang sesuai.

CATATAN : tanpa memperhitungkan tegangan leleh dan kekuatan tarik yang dekat, mutu baja yang diberikan dalam tabel 2.19 sudah sesuai dengan proses canai dingin asalkan digunakan radius dalam bengkokan ( $r_i$ ) yang tepat.



### 3. Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan baja menahan regangan plastis atau permanen sebelum mengalami fraktur. Kemampuan ini cukup penting untuk keamanan struktural maupun proses pembentukan penampang *cold-formed-steel*. Kemampuan ini diukur dengan penguluran baja sampai 50 mm satuan panjang. Rasio tegangan leleh dengan kuat tarik juga merupakan karakteristik yang penting karena rasio ini adalah indikasi adanya strain-hardening dan kemampuan material mendistribusikan tegangan.

Lembaran dan strip baja kadar karbon rendah dengan titik leleh minimum yang telah ditentukan antara 250 Mpa sampai 500 Mpa disyaratkan memenuhi spesifikasi Australian and New Zealand Standards, yaitu terjadi penguluran minimal sebesar 8% dalam 50 mm satuan panjang. Tetapi untuk baja AS 1397-G550 dengan tegangan leleh minimal 550 Mpa, penguluran minimal adalah sebesar 2% dalam 50 mm satuan panjang untuk baja dengan  $t = 0,60$  mm. Tidak ada ketentuan khusus mengenai penguluran untuk baja yang lebih tipis dari 0,60 mm.

Setelah ditemukan baja dengan kekuatan yang lebih tinggi (310 sampai 690 Mpa), syarat mengenai penguluran ditentukan antara 50 sampai 1,3% dalam 50 mm satuan panjang. Rasio  $f_u/f_y$  ditetapkan berkisar antara 1.51 hingga 1. Namun ketentuan ini cukup memberatkan untuk kepentingan desain. Peneliti sebelumnya merekomendasikan persyaratan-persyaratan untuk baja yang memiliki daktilitas tinggi sebagai berikut.

- 1) Rasio  $f_u/f_y > 1,08$
- 2) Total penguluran dalam 50 mm satuan panjang tidak kurang dari 10% atau tidak kurang dari 7% dalam 200 mm satuan panjang.

Ketentuan dalam AS 4600 membatasi rasio  $f_u/f_y$  sebesar 1,08. Karena kurangnya data uji coba performa elemen struktural yang memiliki rasio  $f_u/f_y < 1,08$ , ketentuan dalam AS 4600 membatasi penggunaan baja tersebut hanya untuk *purlin* dan *girt*. Namun, desain gaya aksial dengan bentang pendek diizinkan selama persyaratan dari Standard mengenai daktilitas dipenuhi dan  $N^*/R_u$  tidak melebihi

0,15. Baja AS 1397-G550 dengan ketebalan kurang dari 0,9 mm tidak memiliki daktilitas yang cukup. Penggunaannya dibatasi untuk konfigurasi khusus. Batas dari desain tegangan leleh sampai 75% dari tegangan leleh minimal yang telah ditentukan, dan desain kuat tarik sampai 75% dari kuat tarik minimal yang telah ditentukan, atau 450 Mpa (lebih kecil) akan memiliki *safety factor* yang lebih besar. Meskipun demikian, Standard tetap memperbolehkan baja dengan daktilitas rendah, seperti AS 1397-G550 dengan tebal kurang dari 0,9 mm, untuk digunakan berdasarkan hasil dari loading test yang diijinkan sebagai sebuah alternatif untuk melakukan reduksi ini. Penggunaan tegangan desain yang lebih tinggi dari ketentuan diatas juga diperbolehkan bila daktilitas material tersebut tidak mempengaruhi kekuatan, stabilitas, dan daya layan dari elemen struktural.

### 2.1.8 Batasan Dimensi

Dalam merencanakan sebuah bangunan, tentunya harus ditetapkan batasan-batasan dimensi agar bangunan yang akan dibangun tidak melebihi ukuran yang telah direncanakan sebelumnya. Batasan dimensi ini berfungsi agar bangunan tidak mengalami keruntuhan di bagian-bagian tertentu yang disebabkan oleh kelebihan pelebaran plat badan atau sayap dan elemen yang lain.

Adapun beberapa konsep-konsep batasan dimensi yang harus diterapkan dalam merencanakan sebuah bangunan, yaitu sebagai berikut.

#### 1) Rasio maksimum antar lebar rata terhadap ketebalan

Rasio maksimum antara lebar rata terhadap ketebalan ( $b/t$ ), dimana lebar rata ditentukan dengan mengabaikan pengaku antara dan  $t$  adalah ketebalan nominal komponen struktur, harus memenuhi syarat sebagai berikut.

(a) Untuk elemen tekan dan pengaku yang mempunyai satu tepi longitudinal yang tersambung dengan plat badan atau sayap dan elemen lain yang diperkaku oleh :

- Lip sederhana
- Bentuk pengaku lain dengan ketentuan :  $I_s < I_a$  ,  $I_s \geq I_a$

- (b) Untuk elemen tekan dengan pengaku dimana kedua tepi longitudinalnya terhubung ke elemen lain yang diperkaku
- (c) Untuk elemen tekan tanpa pengaku

CATATAN : komponen struktur tekan tanpa pengaku rasio  $b/t$  lebih dari 30 dan elemen tekan dengan pengaku rasio  $b/t$  lebih dari 250 dapat mengalami deformasi yang besar pada beban desain penuh, tanpa mempengaruhi kemampuan elemen untuk menahan beban desain. Elemen dengan pengaku dengan rasio  $b/t$  lebih dari 500 dapat digunakan dengan kapasitas desain yang cukup untuk menahan beban, akan tetapi deformasi elemen yang besar dapat menyebabkan persamaan dalam standar ini menjadi tidak berlaku.

## 2) Keritingan sayap (curling)

Bila sayap dari komponen struktur lentur sangat lebar dan dikehendaki untuk membatasi besarnya keritingan atau pergerakan sayap ke arah garis netral.

### 2.1.9 Kriteria Pembebanan

Dalam perencanaan suatu struktur tidak akan pernah lepas dari pembebanan yang bekerja pada struktur itu sendiri. Adapun beban-beban tersebut berupa beban gravitasi yang terdiri dari beban mati dan beban hidup, serta beban lateral yang terdiri dari beban gempa dan beban angin. Berikut ini uraian dari masing-masing pembebanan tersebut.

#### 1. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran (SNI 03-1727:2013).

## 2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban air hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727:2013).

Reduksi beban hidup merata untuk komponen struktur yang memiliki nilai  $K_{LL} A_T$  adalah sebesar  $37,16 \text{ m}^2$  atau lebih diijinkan untuk dirancang dengan beban hidup tereduksi sesuai dengan rumus berikut.

$$L = L_o \left( 0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right) \quad (2.1)$$

Dimana :

L	= beban hidup rencana tereduksi per ( $\text{m}^2$ ) dari luasan yang didukung oleh komponen struktur
$L_o$	= beban hidup rencana tanpa reduksi per ( $\text{m}^2$ ) dari luasan yang didukung oleh komponen struktur (Tabel 4.1 SNI 03-1727:2013)
$K_{LL}$	= faktor elemen beban hidup (Tabel 4.2 SNI 03-1727:2013)
$A_T$	= luas tributari dalam ( $\text{m}^2$ )

## 3. Beban Lateral

Dalam merencanakan sebuah bangunan, tentunya harus memperhatikan analisa perhitungan beban lateral. Beban lateral atau yang biasa disebut dengan beban horizontal yang terjadi pada sebuah bangunan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu sebagai berikut.

### 1) Tekanan Tanah Lateral

Metode yang umum digunakan untuk menghitung tekanan tanah lateral dengan sederhana adalah Metode Coulomb dan Metode Rankine.

(a) Metode Coulomb

Charles Augustin Coulomb (1776) menggunakan teori keseimbangan batas, yang menganggap blok tanah gagal sebagai *freebody* untuk menentukan batasan tekanan tanah horizontal. Teori Coulomb sering digunakan oleh *National Concrete Masonry Association*, seperti pada *Design Manual for Segmental Retaining Walls-2<sup>nd</sup> Edition*.

(b) Metode Rankine

Teori Rankine (1857) merupakan solusi medan tegangan yang memprediksi tekanan aktif dan pasif. Dengan mengasumsikan bahwa kegagalan terjadi bila tegangan utama maksimum pada setiap titik mencapai nilai sama dengan tegangan tarik. Teori Rankine baik diterapkan untuk bahan rapuh, dan tidak berlaku untuk bahan daktil.

“*State of stress*” Rankine digunakan oleh AASHTO dan FHWA dan dijelaskan dalam *AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges*.

**2) Beban Gempa**

Besarnya simpangan horisontal (*drift*) bergantung pada kemampuan struktur dalam menahan gaya gempa yang terjadi. Apabila struktur memiliki kekakuan yang besar untuk melawan gaya gempa maka struktur akan mengalami simpangan horisontal yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur yang tidak memiliki kekakuan yang cukup besar.

**3) Beban Angin**

Beban angin pada struktur terjadi karena adanya gesekan udara dengan permukaan struktur dan perbedaan tekanan di bagian depan dan belakang struktur. Beban angin tidak memberi kontribusi yang besar terhadap struktur dibandingkan dengan beban yang lainnya.

#### 4. Beban Terfaktor

Beban terfaktor adalah beban yang telah dikalikan dengan faktor beban yang sesuai. Beban terfaktor menurut SNI 1726:2012 diuraikan sebagai berikut.

- (a)  $1,4D$
- (b)  $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
- (c)  $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- (d)  $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$  (2.2)
- (e)  $1,2D + 1,0E + L$
- (f)  $0,9D + 1,0W$
- (g)  $0,9 + 1,0E$

**Keterangan :**

- D = beban mati
- L = beban hidup
- $L_r$  = beban hidup atap
- R = beban hujan
- W = beban angin
- E = beban gempa

##### 2.1.10 Analisa Gempa

Indonesia merupakan salah satu negara rawan gempa bumi yang ada di dunia, sehingga dalam membangun sebuah konstruksi diperlukan sebuah analisa perhitungan yang tepat dan benar. Adapun langkah-langkah dalam menganalisa perhitungan gempa, yaitu sebagai berikut.

##### 1) Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan, $I_e$

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 1, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan,  $I_e$  menurut Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, anantara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> </ul>	III

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi keadaan darurat</li> </ul>	IV



<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV
---	----

Sumber : SNI 1726 : 2012

*Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa*

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.50

Sumber : SNI 1726 : 2012

## 2) Menentukan Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$

Nilai  $I_e$  didapat berdasarkan kategori risiko bangunan seperti pada Tabel 2.2.

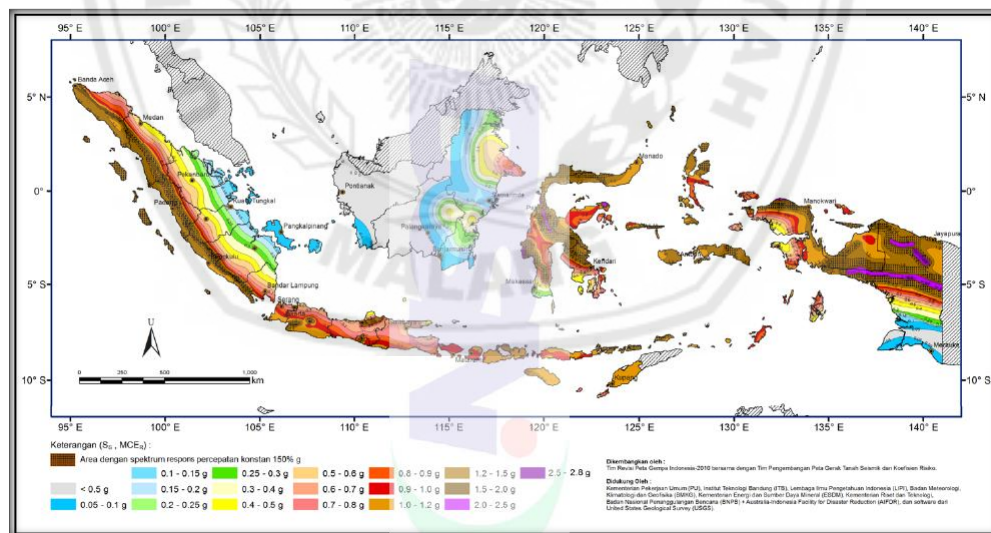
*Tabel 2.3 Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726 : 2012 Tabel 2)*

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I	1,00
II	1,00
III	1,25
IV	1,50

### 3) Menentukan Parameter Percepatan Gempa Terpetakan

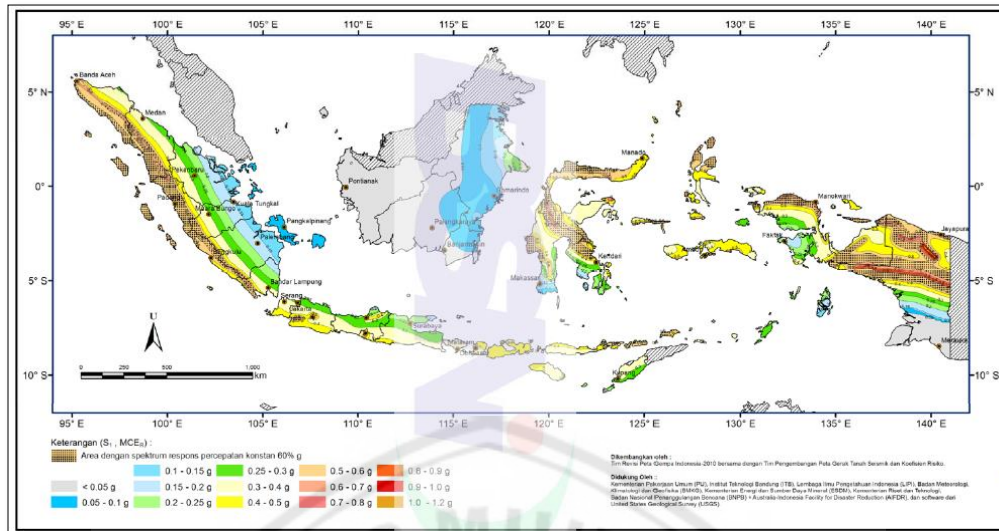
Parameter percepatan gempa yang digunakan adalah percepatan batuan dasar pada perioda pendek ( $S_s$ ) pada 0.2 detik dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik ( $S_1$ ) dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (gempa 2500 tahun).

Penggunaan percepatan 0.2 detik dan 1 detik dikarenakan pada interval 0,2 detik sampai 1 detik mengandung energi gempa terbesar. Nilai kedua parameter ini didapat dari Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



**Gambar 2.5 – Peta untuk  $S_s$**

Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)



**Gambar 2.6 – Peta untuk  $S_1$**   
 Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

#### 4) Menentukan Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs dapat ditetapkan dengan tiga parameter, yaitu :

- Kecepatan rata-rata gelombang geser.
- Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata, atau tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non kohesif
- Kuat geser niralir rata-rata

Ketentuan mengenai penggunaan parameter di atas dijelaskan dalam SNI pasal 5.3 dan 5.4. Dari parameter-parameter ini dapat diketahui kalsifikasi situs sesuai dengan Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Klasifikasi Situs (SNI Tabel 3)

Kelas Situs	$\bar{v}_s$	$\bar{N}$ or $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$
SA (batuan keras)	>1500 m/s	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500 m/s	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750 m/s	>50	$\geq 100$ kN/m <sup>2</sup>
SD (tanah sedang)	175 sampai 350 m/s	15-50	50 sampai 100 kN/m <sup>2</sup>
SE (tanah lunak)	< 175 m/s	< 15	< 50 kN/m <sup>2</sup>
	Atau setiap profil tanah yang mengandung 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math></li> <li>- Kadar air, <math>w \geq 40\%</math></li> <li>- Kuat geser niralar <math>\bar{s}_u &lt; 25</math> kPa</li> </ul>		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat senditif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/ atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> <li>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan <math>PI &gt; 75</math>)</li> </ul> Lapisan lempung lunak/ setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Sumber : SNI 1726 : 2012

### 5) Menentukan Koefisien Situs

Koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  didapat dari Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Koefisien Situs  $F_a$  (SNI Tabel 4)

Klasifikasi Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa $MCE_R$ pada periode pendek				
	$S_s \leq$ 0,25	$S_s =$ 0,5	$S_s =$ 0,75	$S_s =$ 1,0	$S_s \geq$ 1,25
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	Lihat ketentuan pasal 6.10.1				
Catatan : Gunakan interpolasi linier untuk nilai-nilai antara $S_s$					

Sumber : SNI 1726 : 2012

Tabel 2.6 Koefisien Situs  $F_v$  (SNI Tabel 5)

Klasifikasi Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa $MCE_R$ pada periode 1 s				
	$S_I \leq$ 0,1	$S_I =$ 0,2	$S_I =$ 0,3	$S_I =$ 0,4	$S_I \geq$ 0,5
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	Lihat ketentuan pasal 6.10.1				
Catatan : Gunakan interpolasi linier untuk nilai-nilai antara $S_I$					

Sumber : SNI 1726 : 2012

## 6) Spektrum Respons Percepatan

Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{ML}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini :

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{ML} = F_v S_I$$

### Keterangan :

$S_s$  = Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek.

$S_I$  = Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1 detik.

### 7) Menghitung Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  dihitung dengan Persamaan (i) dan (ii) (SNI pasal 6.3) dengan nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$  dihitung dengan Persamaan (iii) dan (iv) (SNI pasal 6.2).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (i)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (ii)$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (iii)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (iv)$$

### 8) Kategori Desain Sismik

Struktur harus memiliki suatu kategori desain seismik. Kategori desain seismik ditemukan berdasarkan tabel-tabel dibawah ini, dimana kategori desain seismik yang diambil adalah yang paling berat dari kedua tabel tersebut.

**Tabel 2.7** Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : SNI 1726 : 2012

**Tabel 2.8** Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726 : 2012

### 9) Spektrum Respons Desain

Berikut ini beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam spektrum respons, antara lain :

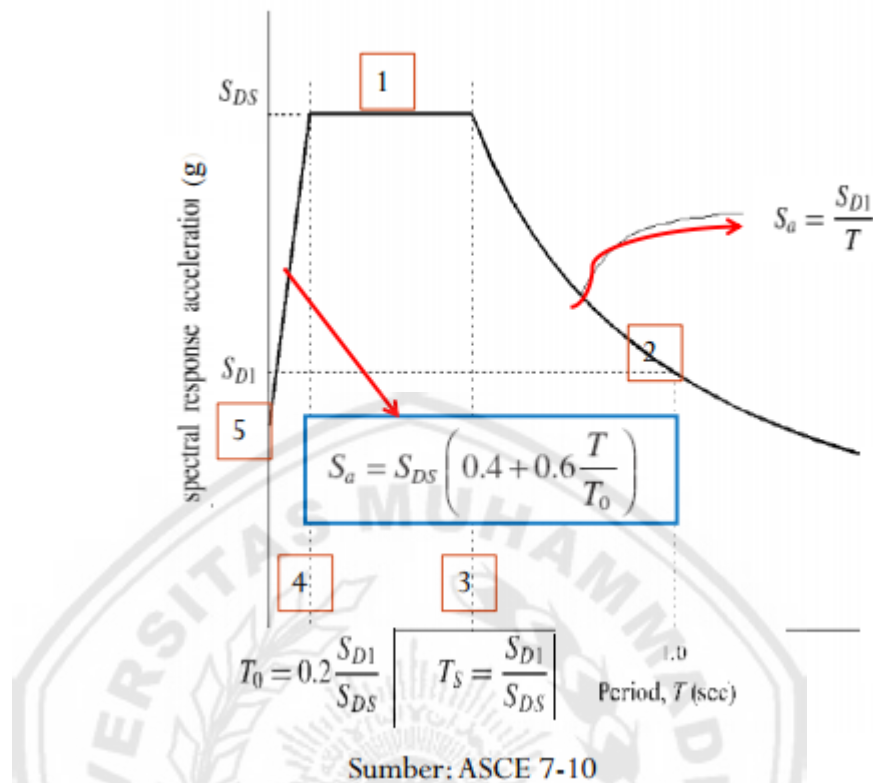
- (a) Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_o$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$ , harus diambil berdasarkan persamaan berikut ini :

$$S = S_{DS} \left[ 0.40 + 0.60 \frac{T}{T_o} \right]$$

- (b) Untuk periode lebih besar atau sama dengan  $T_o$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ .

- (c) Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan :





*Gambar 2.7 – Spektrum Respons Desain*  
 Sumber : [google.com](http://google.com)

**Keterangan :**

$S_{DS}$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

$S_{D1}$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

$T$  = Perioda getar fundamental struktur

**Keterangan Lanjutan :**

$$T_0 = 0.20 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

**10) Perioda Fundamental Alami (*Approximate Fundamental Period*)**

Perioda fundamental pendekatan,  $T_a$ , dalam detik harus ditentukan dari persamaan berikut :



$$T_a = C_t h_n^x$$

$$T_{max} = C_u T_a$$

**Keterangan :**

$h_n$  ketinggian struktur diatas dasar samapai tingkat tertinggi struktur (m)  
dan koefisien  $C_t$  serta  $x$  ditentukan melalui tabel-tabel berikut :

**Tabel 2.9 – Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung**

Parameter Percepatan Respons Spektrum Desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : SNI 1726 : 2012

Berikutnya adalah tampilan dari tabel Nilai Parameter Perioda Pendekatan  $C_t$  dan  $x$  disajikan dalam Tabel 2.10.

**Tabel 2.10 – Nilai Parameter Perioda Pendekatan  $C_t$  dan  $x$**

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka penahan momen dimana rangka menahan 100% gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi bilamana dikenai gaya gempa:		
Rangka penahan momen baja	0,028 (0,0724) <sup>a</sup>	0,8
Rangka penahan momen beton	0,016 (0,0466) <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja bresing secara eksentris	0,03 (0,0731) <sup>a</sup>	0,75
Rangka brasing baja yang tidak diijikan tekuk	0,03 (0,0731) <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,02 (0,0488) <sup>a</sup>	0,75

Sumber : SNI 1726 : 2012

Untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gaya seismik terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m, maka :

$$T_a = 0.10 N$$

**Keterangan :**

$N$  = Jumlah tingkat

Perioda fundamental pendekatan,  $T_a$ , dalam detik untuk struktur dinding geser batu bata atau beton diijinkan untuk ditentukan dari persamaan berikut :

$$T_a = \frac{0.0062}{\sqrt{C_w}} h_n$$

$$C_w = \frac{100}{A_s} \sum_{i=1}^x \left( \frac{h_n}{h_i} \right) \frac{A}{[1 + 0.83 \left( \frac{h_i}{D_i} \right)^2]}$$

**Keterangan :**

$A_B$  = Luas dasar struktur, dinyatakan dalam meter persegi ( $m^2$ )

$A_i$  = Luas badan dinding geser, dinyatakan dalam meter persegi ( $m^2$ )

$D_i$  = Panjang dinding geser “i”, dinyatakan dalam meter (m)

$h_i$  = Tinggi dinding geser “i”, dinyatakan dalam meter (m)

$x$  = Jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif dalam menahan gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

Jika  $T$  yang akurat tidak dimiliki ( $T$  hasil dari analisis komputer), maka menggunakan  $T = T_o$ . Namun, jika  $T$  yang lebih akurat dari analisis komputer dimiliki, maka :

- (a) Jika  $T_c > C_u, T_a$ , maka menggunakan  $T = C_u T_a$
- (b) Jika  $T_a < T_c < T_a C_u$ , maka menggunakan  $T = T_c$
- (c) Jika  $T_c < T_a$ , maka menggunakan  $T = T_a$

### 11) Meghitung Periode Fundamental Perkiraan

Karena periode fundamental struktur belum dapat ditentukan perlu ditentukan periode fundamental perkiraan,  $T_a$ . Nilai  $T_a$  ini bisa dihitung dengan Persamaan (v) (SNI Pasal 7.8.2.1) dengan terlebih dahulu menentukan  $C_t$  dan  $x$  dari Tabel 2.11.

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (v)$$

**Tabel 2.11** Nilai Koefisien Waktu Getar Perkiraan  $C_t$  Dan  $x$

(SNI-1726-2012 Tabel 15)

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dengan rangka menahan 100% gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa :		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangak baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : SNI 1726 : 2012

### 12) Nilai $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_o$

Nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_o$  harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam tabel 2.12. Berikut ini adalah nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_o$  untuk masing-masing sistem penahan gempa.

Tabel 2.12 – Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_o$  untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Pasal SNI 1726 di mana persyaratan pendetailan ditetapkan	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat-lebih sistem, $\Omega_0^g$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m) <sup>c</sup>					
					Kategori desain seismik					
					B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>	
<b>A. Sistem dinding penumpu</b>										
1. Dinding geser beton bertulang khusus	7.2	5	2½	5	TB	TB	48	48	30	
2. Dinding geser beton bertulang biasa	7.2	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI	
3. Dinding geser beton polos didetail	7.2	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI	
4. Dinding geser beton polos biasa	7.2	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI	
5. Dinding geser pracetak menengah	7.2	4	2½	4	TB	TB	12 <sup>k</sup>	12 <sup>k</sup>	12 <sup>k</sup>	
6. Dinding geser pracetak biasa	7.2	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI	
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	7.4	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30	
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	7.4	3½	2½	2½	TB	TB	TI	TI	TI	
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	7.4	2	2½	1½	TB	48	TI	TI	TI	
<b>B. Sistem rangka bangunan</b>	<b>Pasal SNI 1726 <sup>a</sup></b>	<b><math>R^a</math></b>	<b><math>\Omega_0^g</math></b>	<b><math>C_d^b</math></b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D<sup>d</sup></b>	<b>E<sup>d</sup></b>	<b>F<sup>e</sup></b>	
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	7.1	8	2	4	TB	TB	48	48	30	
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7.1	6	2	5	TB	TB	48	48	30	
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>										
1. Rangka baja pemikul momen khusus	7.1 dan 5.2.5.5	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB	
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7.1	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI	
3. Rangka baja pemikul momen menengah	5.2.5.7 dan 7.1	4.5	3	4	TB	TB	10 <sup>h</sup> <sub>i</sub>	TI <sup>h</sup>	TI <sup>i</sup>	
4. Rangka baja pemikul momen biasa	5.2.5.6 dan 7.1	3.5	3	3	TB	TB	TI <sup>h</sup>	TI <sup>h</sup>	TI <sup>i</sup>	

D.Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gempa yang ditetapkan	Pasal SNI 1726 <sup>a</sup>	$R^a$	$\Omega_0^d$	$C_d^b$	B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	7.1	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7.1	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7.2	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	7.2	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	7.3	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	7.3	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7.3	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7.3	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	7.3	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	7.4	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	7.4	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	7.1	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	7.1	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

E.Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 persen gempa yang ditetapkan	Pasal SNI 1726 <sup>a</sup>	$R^a$	$\Omega_0^d$	$C_d^b$	B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus <sup>f</sup>	7.1	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI <sup>h,k</sup>
2. Dinding geser beton bertulang khusus	7.2	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	7.4	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI

Sumber : SNI 1726 : 2012

### 13) Fleksibilitas diafragma

Analisis struktur diwajibkan menghitung kekakuan relatif diafragma dan elemen vertikal sistem penahan gaya gempa. Kecuali jika diafragma dapat diidealisasikan baik fleksibel ataupun kaku, analisa struktur harus di eksplisit menyertakan peninjauan kekakuan diafragma (yaitu asumsi permodelan semi kaku).

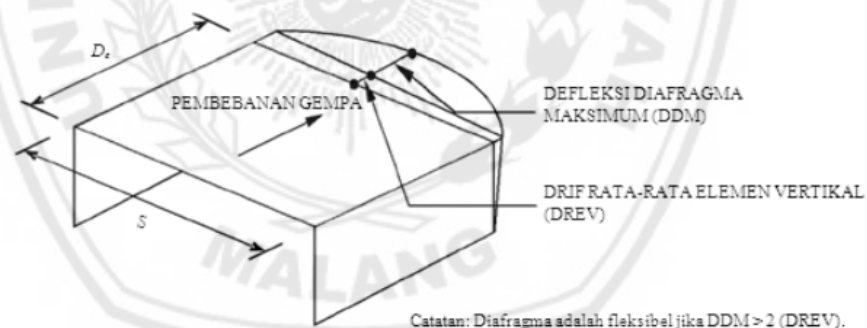
#### (a) Kondisi diafragma fleksibel

Diafragman yang terbuat dari dek baja atau panel struktur kayu tanpa diberi penutup (*topping*) beton dapat diidealisasikan sebagai diafragma fleksibel jika memenuhi kondisi dibawah ini :

- Struktur dimana elemen vertikal adalah rangka baja dengan bresing, rangka baja dan beton komposit dengan bresing, atau dinding geser beton, batu bata, baja, atau dinding geser baja dan beton komposit.
- Bangunan hunian satu atau dua lantai.
- Struktur rangka ringan dimana kondisi dibawah ini terpenuhi :
  - a) Penutup beton atau material yang sama tidak ditempatkan diatas panel diafragma kayu, kecuali untuk penutup nonstruktural dengan tebal tidak melebihi 38 mm.
  - b) Setiap elemen vertikal dari sistem penahan gaya gempa memenuhi syarat tingkat simpangan antar lantai.

#### (b) Kondisi diafragma kaku

Diafragma pelat beton atau dek metal yang diberi penutup (*topping*) beton dengan perbandingan  $S/D_e$  sebesar 3 atau kurang pada struktur tanpa ketidakberaturan horisontal dapat diselesaikan sebagai diafragma kaku.



**Gambar 2.8 – Diafragma fleksibel**

Sumber : [google.com](http://google.com)

#### 14) Ketidakberaturan Struktur Vertikal

Struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdaftar dalam Tabel 2.13 harus dianggap mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdaftar dalam Tabel 2.13 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 2.13 – Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	<b>Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak</b> didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 13	D, E, dan F
1b.	<b>Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan</b> didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 13	E dan F D, E, dan F
2.	<b>Ketidakberaturan Berat (Massa)</b> didefinisikan ada jika efektif semua tingkat lebih dari 150 persen efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 13	D, E, dan F
3.	<b>Ketidakberaturan Geometri Vertikal</b> didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan seismik di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan seismik tingkat di dekatnya.	Tabel 13	D, E, dan F
4.	<b>Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal</b> didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 13	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	<b>Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat</b> didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 13	E dan F D, E, dan F
5b.	<b>Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan</b> didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 13	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

Sumber : SNI 1726 : 2012

## 15) Ketidakberaturan Struktur Horisontal

Struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdaftar dalam Tabel 2.14 harus dianggap mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdaftar dalam Tabel 2.14 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.



Tabel 2.14 – Ketidakberaturan Vertikal pada Horisontal

	Tipe dan Ppenjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	<b>Ketidakberaturan torsi</b> didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 137.6-4 12.2.2	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	<b>Ketidakberaturan torsi berlebihan</b> didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 137.6-4 12.2.2	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	<b>Ketidakberaturan sudut dalam</b> didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	7.3.3.4 Tabel 135.6-4	D, E, dan F D, E, dan F
3.	<b>Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma</b> didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 137.6-4	D, E, dan F D, E, dan F
4.	<b>Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang</b> didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 137.6-4 12.2.2	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	<b>Ketidakberaturan sistem nonparalel</b> didefinisikan ada jika elemen penahan lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 137.6-4 12.2.2	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Sumber : SNI 1726 : 2012

## 16) Menghitung berat seismik efektif

Berat seismik efektif ( $W$ ) harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar dibawah ini :

- Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan : minimum sebesar 25 persen beban hidup lantai (beban hidup lantai di garasi publik dan struktur parkir terbuka, serta beban penyimpanan yang tidak melebihi 5 persen dari berat seismik efektif pada suatu lantai tidak perlu disertakan).
- Jika ketentuan untuk partisi disyaratkan dalam desain beban lantai, diambil sebagai yang terbesar diantara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar  $0.48 \text{ kN/m}^2$ .
- Berat operasional total dari peralatan yang permanen.
- Berat lansekap dan beban lainnya pada taman atap dan luasan sejenis lainnya.



## 17) Redundansi

Faktor redundansi ( $\rho$ ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur. Nilai  $\rho$  diijinkan sama dengan 1.0 bila masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar pada arah yang ditinjau harus memenuhi persyaratan tabel 2.15 dibawah ini.

**Tabel 2.15 – Persyaratan Masing-masing Tingkat yang Menahan lebih dari 35 Persen Gaya Geser Dasar**

Elemen penahan lateral	Persyaratan
Rangka dengan bresing	Pelepasan bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar lebih dari 33 persen, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidakaturan torsi yang berlebihan (ketidakaturan struktur horisontal Tipe 1b).
Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen di sambungan balok ke kolom di kedua ujung balok tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 persen, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidakaturan torsi yang berlebihan (ketidakaturan struktur horisontal Tipe 1b).
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0	Pelepasan dinding geser atau pier dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0 di semua tingkat, atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 persen, atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakaturan torsi yang berlebihan (ketidakaturan struktur horisontal Tipe 1b).
Kolom kantilever	Kehilangan tahanan momen di sambungan dasar semua kolom kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 persen, atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakaturan torsi yang berlebihan (ketidakaturan struktur horisontal Tipe 1b).
Lainnya	Tidak ada persyaratan

Sumber : SNI 1726 : 2012

## 18) Prosedur Analisis Gaya Lateral

Analisis struktur yang disyaratkan harus terdiri dari salah satu tipe yang diijinkan dalam Tabel 2.15, berdasarkan pada kategori desain seismik struktur, sistem struktur, properti dinamis yang keteraturan. Prosedur analisis yang dipilih harus dilengkapi sesuai persyaratan dari peraturan yang dirujuk pada tabel 2.16 berikut ini.

Tabel 2.16 – Prosedur Analisis yang boleh digunakan

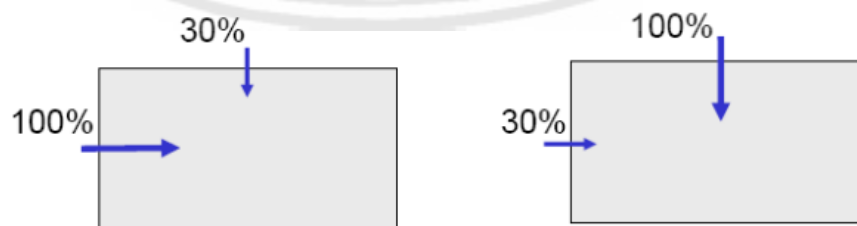
Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen Pasal -7.8	Analisis spektrum respons ragam Pasal 7.9	Prosedur riwayat respons seismik Bab 11
B, C	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Struktur beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan	I	I	I
	Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan mempunyai hanya ketidakteraturan horisontal Tipe 2, 3, 4, atau 5 dari Tabel 10 atau ketidakteraturan vertikal Tipe 4, 5a, atau 5b dari Tabel 11	I	I	I
	Semua struktur lainnya ( $T \geq 3,5 T_s$ KR III dan IV)	TI	I	I

CATATAN I : Diiijinkan ; TI : Tidak Diiijinkan

Sumber : SNI 1726 : 2012

### 19) Pengaruh beban ortogonal

Untuk kategori desain seismik C, D, E dan F , pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya gempa pada struktur dianggap terpenuhi jika komponen dan pondasinya didesain untuk memikul kombinasi beban-beban yang ditetapkan berikut : 100 persen gaya untuk satu arah ditambah 30 persen untuk gaya tegak lurus. Pengaruh beban ortogonal ini mempengaruhi kolom utama, khususnya kolom sudut.



Gambar 2.9 – Pengaruh Beban Ortogonal

Sumber : [google.com](http://google.com)

## 20) Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa ditingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, dan F yang memiliki ketidakberaturan horisontal tipe 1a atau 1b, simpangan antar lantai desain ( $\Delta$ ), harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik diatas dan dibawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

Defleksi pusat massa di tingkat x harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

### Keterangan :

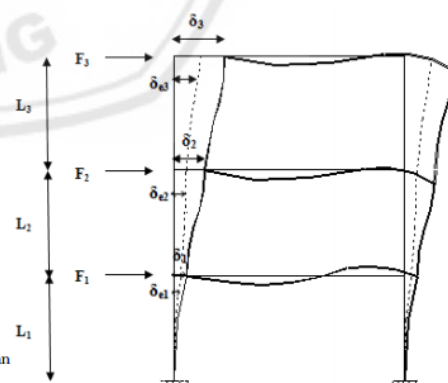
$C_d$  = faktor pembesaran defleksi

$\delta_{xe}$  = defleksi yang ditentukan oleh analisis elastis

$I_e$  = faktor keutamaan

### Penentuan simpangan antar lantai

<b>Tingkat 3</b>		
$F_3$	=	gaya gempa desain tingkat kekuatan
$\delta_{e3}$	=	perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan
$\delta_3$	=	$C_d \delta_{e3} / I_e$ = perpindahan yang diperbesar
$\Delta_3$	=	$(\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_e \leq \Delta_u$ (Tabel 16)
<b>Tingkat 2</b>		
$F_2$	=	gaya gempa desain tingkat kekuatan
$\delta_{e2}$	=	perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan
$\delta_2$	=	$C_d \delta_{e2} / I_e$ = perpindahan yang diperbesar
$\Delta_2$	=	$(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_e \leq \Delta_u$ (Tabel 16)
<b>Tingkat 1</b>		
$F_1$	=	gaya gempa desain tingkat kekuatan
$\delta_{e1}$	=	perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan
$\delta_1$	=	$C_d \delta_{e1} / I_e$ = perpindahan yang diperbesar
$\Delta_1$	=	$\delta_1 \leq \Delta_u$ (Tabel 16)
$\Delta_1$	=	Simpangan antar lantai
$\Delta_1 / L_1$	=	Rasio simpangan antar lantai
$\delta_3$	=	Perpindahan total



**Gambar 2.10** – Penentuan Simpangan Antar Lantai

Sumber : google.com

Tabel 2.17 – Prosedur Analisis yang boleh digunakan

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber : SNI 1726 : 2012

## 21) Pengaruh Torsi

### (a) Torsi bawaan

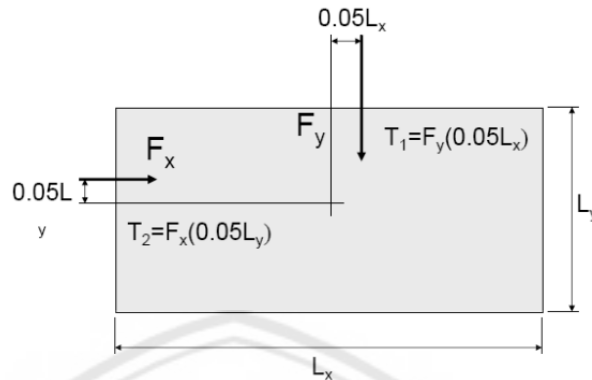
Untuk diafragma yang fleksibel, distribusi gaya lateral di masing-masing tingkat harus memperhitungkan pengaruh momen torsi bawaan,  $M_t$ , yang dihasilkan dari eksentrisitas antara lokasi pusat massa dan pusat kekakuan. Untuk diafragma fleksibel, distribusi gaya ke elemen vertikal harus memperhitungkan posisi dan distribusi massa yang didukungnya.

### (b) Torsi Tak Terduga

Jika diafragma fleksibel, harus menyertakan momen torsi bawaan ( $M_t$ ) (kN) yang dihasilkan dari lokasi massa struktur ditambah momen torsi tak terduga ( $M_{ta}$ ) (kN) yang diakibatkan oleh perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak sama dengan 5 persen dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan.

Jika gaya gempa diterapkan secara serentak dalam dua arah ortogonal, perpindahan pusat massa 5 persen yang disyaratkan tidak perlu diterapkan

dalam kedua arah ortogonal pada saat bersamaan, tetapi harus diterapkan dalam arah yang menghasilkan pengaruh yang lebih besar.



**Gambar 2.11** – Torsi Tak Terduga

Sumber : [google.com](http://google.com)

### (c) Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, dan F, dimana tipe 1a atau 1b, ketidakberaturan torsi harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan  $M_{ta}$  di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ) yang diperhitungkan pada persamaan berikut :

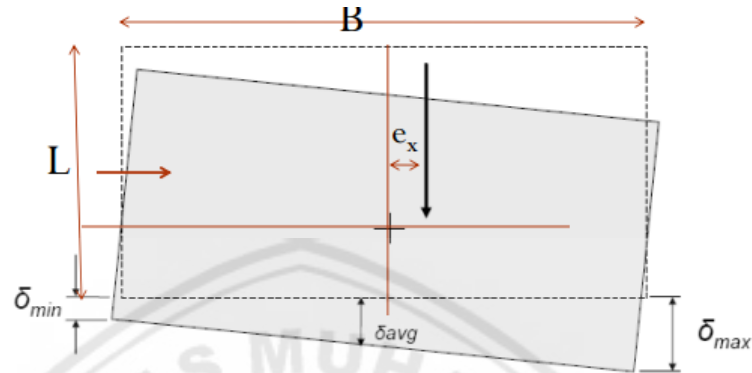
$$A_x = \left( \frac{\delta_{\max}}{1.2\delta_{\text{avg}}} \right)^2$$

#### Keterangan :

$\delta_{\max}$  = Perpindahan maksimum ditingkat  $x$  (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan  $A_x = 1$  mm

$\delta_{\text{avg}}$  = Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur ditingkat  $x$  yang dihitung dengan mengasumsikan  $A_x = 1$  mm

Faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ) tidak disyaratkan melebihi 3.00. Pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain.



Gambar 2.12 – Pembesaran Torsi Tak Terduga

Sumber : [google.com](http://google.com)

## 22) Pengaruh P-Delta

Untuk analisis elastik, maka digunakan persamaan berikut :

$$\Delta_f = \frac{\Delta_o}{1 - \frac{P\Delta_o}{Vh}} = \frac{\Delta_o}{1 - \theta}$$

**Keterangan :**

$\Delta_o$  = drif tingkat tanpa beban gravitasi (tanpa P- $\Delta$ )

$\Delta_f$  = drif tingkat termasuk beban gravitasi (termasuk P- $\Delta$ )

$P$  = beban gravitasi total pada tingkat

$V$  = geser total tingkat

$h$  = tinggi tingkat

$\theta$  didefinisikan sebagai “rasio stabilitas tingkat”

Untuk setiap tingkat harus dihitung :

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

**Keterangan :**

$P_x$  = beban desain vertikal total pada tingkat di atas level  $x$

$\Delta$  = drif tingkat (simpangan antar lantai) yang dihitung pada level desain (termasuk  $C_d$ )

$V_x$  = gaya geser seismik total tingkat yang ditinjau

$h$  = tinggi antar tingkat yang ditinjau

Bila  $\theta < 0.1$ , pengaruh P-delta dapat diabaikan

$$\theta_{\max} = \frac{0.5}{\beta C_d} < 0.25$$

**Keterangan :**

$\beta$  adalah rasio geser perlu terhadap kapasitas geser tingkat yang ditinjau.

$\beta$  boleh diambil = 1.00, hal ini akan menghasilkan  $\theta_{\max} = 0.125$  bila  $C_d = 4$

### 23) Menghitung gaya geser dasar

Gaya geser dasar diperoleh dari perkalian koefisien respons seismik dengan berat seismik efektif seperti ditunjukkan dalam Persamaan (ix).

$$V = C_s W \quad (ix)$$

#### 24) Menghitung koefisien respons seismik

Koefisien respons seismik,  $C_s$ , dihitung dengan Persamaan (vi). Nilai dari Persamaan (vi) tidak perlu melebihi nilai dari Persamaan (vii) dan tidak boleh kurang dari Persamaan (viii) (SNI Pasal 7.8.1.1).

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (vi)$$

##### Keterangan :

$S_{DS}$  = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

$R$  = Faktor modifikasi respons

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan diatas tidak perlu melebihi berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (vii)$$

$C_s$  harus tidak kurang dari  $C_s = 0,444 S_{DS} I_e \geq 0,01$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0.6 g, maka  $C_s$  harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (viii)$$

##### Keterangan :

$S_{D1}$  = Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode sebesar 0.10 detik

$T$  = Periode fundamental struktur

$S_1$  = Parameter percepatan spektrum respons maksimum



## 2.2 Aspek-aspek yang diterapkan pada bangunan

Dalam pendesainan mempertimbangkan aspek-aspek sebagai berikut.

- 1) Aspek Keindahan dan Arsitektur
- 2) Aspek Tata Letak Ruangan
- 3) Aspek Pencahayaan
- 4) Aspek Penghawaan
- 5) Aspek Keselamatan dan Keamanan

Berikut adalah penjelasan mengenai aspek-aspek yang kami terapkan pada bangunan ini.

### 2.2.1 Material

Dalam pelaksanaan pembangunan baik itu rumah, gedung maupun bangunan struktur lainnya, kita membutuhkan material bangunan sebagai bahan untuk pelaksanaannya. Untuk dapat membangun sebuah bangunan berkualitas maka diperlukan upaya khusus dalam memilih bahan bangunan yang bagus, caranya dapat dengan melihat kondisi penampakan fisik material atau melakukan tes uji laboratorium. Berikut adalah penjelasan material-material yang akan digunakan pada bangunan ini

#### a. Material Pondasi

Pada bangunan rumah bertingkat tahan gempa ini jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi batukali / pondasi menerus yang mana direncanakan untuk dapat menahan beban yang salurkan struktur atas bangunan. Pondasi batu kali di letakkan pada kedalaman tanah yang stabil dan juga bertekstur keras yang difungsikan untuk meredam getaran yang diakibatkan oleh gempa. Pondasi batu kali ini dibuat menerus mengelilingi rumah dengan setiap siku bangunan membentuk sudut  $90^{\circ}$ . Selain pondasi batu kali, digunakan juga pondasi *Footplate* (telapak) yang terletak pada tiap-tiap bagian bawah kolom sebagai tempat penyaluran beban struktur atas dari kolom. Pondasi tersebut terbuat dari material beton bertulang.

Pada bagian atas sepanjang pondasi batu kali diberi sloof dan dikuatkan angkur dengan diameter 12 mm dan panjang 25 cm setiap 0,5 meter diantara keduanya untuk menguatkan ikatan antara sloof dan pondasi batu kali / pondasi menerus.

#### **b. Material Balok, Kolom dan Rangka Atap**

Material kolom, balok dan rangka menggunakan jenis material baja canai dingin (*cold formed steel*) dengan mutu G550. Pemilihan penggunaan baja canai dingin dikarenakan baja canai dingin memiliki beberapa kelebihan yaitu tahan terhadap segala kondisi cuaca, tahan rayap, anti karat dan ringan jika digunakan sebagai material konstruksi. Dengan material konstruksi bangunan yang ringan dimasukkan untuk mereduksi beban bangunan sebagai beban mati dan beban gaya / getaran akibat gempa yang akan diteruskan ke pondasi. Selain itu penggunaan baja ringan dapat membantu melestarikan lingkungan dalam hal mengurangi penggunaan kayu sebagai material konstruksi. Adapun spesifikasi baja canai dingin (*cold formed steel*) yang digunakan sebagai material balok, kolom dan rangka atap :

- Profil kolom : Profil hollow ( 24 cm x 24 cm x 0,24 cm )
- Profil balok induk : Profil hollow ( 12 cm x 24 cm x 0,24 cm )
- Profil balok anak : Profil hollow ( 7,8 cm x 18 cm x 0,24 cm )
- Profil rangka atap : Profil siku ( 9 cm x 9 cm x 0,15 cm )
- Tegangan Leleh ( $f_y$ ) : 550 Mpa
- Kekuatan Tarik ( $f_u$ ) : 550 Mpa
- Modulus Elastis ( E ) : 200.000 N/mm<sup>2</sup>
- Modulus Geser ( G ) : 80.000 N/mm<sup>2</sup>
- Nisbah poisson (  $\mu$  ) : 0,3
- Koefisien pemuaian ( $\alpha$ ) :  $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- Berat Jenis (  $\rho$  ) : 7850 kg/m<sup>3</sup>

### c. Material Dinding

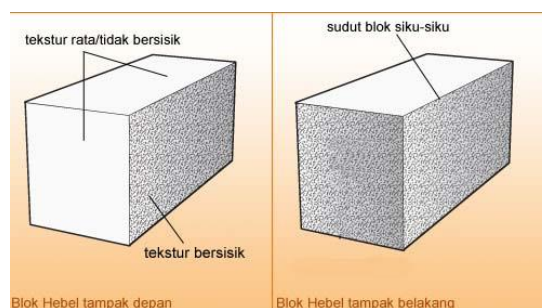
Untuk material dinding digunakan material berupa dinding *Hebel* (bata ringan). Penggunaan bata ringan dimaksudkan untuk mereduksi beban dinding sebagai beban mati pada struktur.

Keuntungan menggunakan bata ringan (*Hebel*) sebagai material dinding adalah :

- 1) Pengangkutan dan pelaksanaan pemasangan lebih mudah dan cepat dibandingkan pemakaian bata biasa
- 2) Kedap udara dan air, sehingga kecil kemungkinan terjadi rembesan air
- 3) Kuat tekan tinggi
- 4) Lebih ringan dari pada bata biasa sehingga memperkecil beban strukrur
- 5) Mempunyai ketahanan yang lebih baik terhadap gempa bumi

Spesifikasi bata ringan yaitu :

- Berat jenis kering :  $520 \text{ kg/m}^3$
- Berat jenis normal :  $650 \text{ kg/m}^3$
- Kuat tekan :  $> 4,0 \text{ N/mm}^2$
- Konduktifitas termis :  $0,14 \text{ W/mK}$
- Tebal Spesi :  $3 \text{ mm}$
- Ketahanan terhadap api : 4 jam
- Jumla per luasan per  $1 \text{ m}^2$  : 22-26 buah tanpa *construction waste*)



**Gambar 2.13 – Bata Ringan (Hebel)**

Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

**d. Material Pelat Lantai 2**

Pelat lantai 2 bangunan ini menggunakan pelat beton bertulang dengan ketebalan minimal untuk lantai yaitu 12 cm.

**e. Material Penutup**

Jenis material yang dibutuhkan sebagai penutup atap bangunan tahan gempa adalah material yang ringan sehingga material yang cocok yaitu genteng metal. Genteng metal merupakan genteng yang terbuat dari bahan metal *Zincalume* 300 dengan keunggulan tahan terhadap cuaca dan bersifat lentur sehingga dapat diaplikasikan antara sudut atap 12-90° serta memiliki bobot yang lebih ringan jika dibandingkan jenis genteng yang terbuat dari tanah liat. Selain itu, genteng metal juga mudah dalam pengerjaan jika dipasang pada jenis rangka atap canai dingin.

### **2.2.2 Alat Sambung**

Sambungan merupakan suatu komponen penting dalam konstruksi bangunan. Kekuatan dari suatu struktur bangunan sangat bergantung dari baik dan tidaknya pengikat untuk menyambung antar elemen dari bangunan tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan alat sambung yang tepat guna mengikat setiap elemen dari struktur agar menjadi struktur yang kuat dan saling terhubung. Dalam merencanakan bangunan bertingkat dengan material struktur menggunakan canai dingin digunakan jenis sambungan mur-baut ini sesuai dengan ketentuan yang termuat dalam panduan Kompetisi Bangunan Gedung Indonesia (KBGI)-IX.

Baut adalah alat sambung dengan batang bulat dan berulir, kepala baut berbentuk heksagonal (segi enam) dengan ujung lainnya yang berulir sebagai tempat pemasangan mur (pengunci). Pada penggunaannya di lapangan, baut-mur dikobinasikan dengan ring pada pemakaiannya. Ring pada pemasangan baut-mur ini berfungsi agar bila mur dikencangkan dengan keras tidak mudah dol/londot. Dalam pemakaiannya pada sebuah konstruksi, baut dapat digunakan pada konstruksi dengan sambungan tetap, sambungan bergerak, maupun sambungan sementara yang dapat dibongkar atau dilepas kembali..

Pada umumnya bentuk ulir pada batang baut berdasarkan fungsinya dibedakan menjadi dua, yaitu ulir segitiga (ulir tajam) dan ulir segi empat (ulir tumpul). Ulir segitiga (ulir tajam) berfungsi sebagai pengikat, sedangkan bentuk ulir segi empat (ulir tumpul) berfungsi sebagai sambungan untuk alat-alat permesinan.

Baut untuk konstruksi baja bangunan dibedakan menjadi dua jenis:

- 1) Baut hitam. Yaitu dari baja lunak (St-34) banyak dipakai untuk konstruksi sedang atau ringan, misalnya bangunan gedung. Untuk sambungan pada bangunan gedung berdasarkan SNI 7971:2013 pasal 5.3.1, jika ukuran diameter batang baut  $\leq 12$  mm maka diameter lubang memiliki kelonggaran 1 mm, dan ukuran diameter batang baut  $\geq 12$  mm maka diameter lubang memiliki kelonggaran 2 mm.
- 2) Baut pass. Yaitu baut sari baja mutu tinggi ( $\ddagger$  St-42) dipakai untuk konstruksi berat atau beban bertukar seperti jembatan jalan raya. Diameter baut dan luangnya realif pass yaitu kelonggaran.

Macam-macam ukuran diameter baut untuk konstruksi baja antara lain 7/16" ( d = 11,11 mm ), 1/2" ( d = 12,70 mm ), 5/8" ( d = 15,87 mm ), 3/4" ( d = 19,05 mm ), 7/8" ( d = 22,22 mm ), 1" ( d = 25,40 mm ), 1 1/8" ( d = 28,57 mm ) 1 1/4" ( d = 31,75 mm ).

Keuntungan sambungan menggunakan baut antara lain :

- 1) Lebih mudah dalam pemasangan/penyetelan konstruksi di lapangan.
- 2) Konstruksi sambungan dapat dibongkar-pasang.
- 3) Dapat dipakai untuk menyambung dengan jumlah tebal baja  $> 4d$  ( tidak seperti paku keling dibatasi maksimum  $4d$  ). Dengan menggunakan jenis Baut Pass maka dapat digunakan untuk konstruksi berat jembatan.

### 2.2.3 Pembebanan

Beban adalah gaya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan, penghuni dan barang-barang yang ada di dalam bangunan gedung, efek lingkungan, selisih perpindahan dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi. Pada analisa struktur bangunan bertingkat tahan gempa digunakan beban-beban sebagai berikut

#### a. Beban Mati

Menurut SNI 1727:2013, Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan lain terpasang lain termasuk berat keran.

#### b. Beban Hidup

Menurut SNI 1727:2013, Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

#### c. Beban Angin

Beban angin merupakan beban yang diakibatkan oleh adanya gerakan dan tekanan dari angin. Gerakan angin tidaklah bersifat laminar teratur tetapi merupakan gerakan turbulen dengan kecepatan yang berbeda-beda setiap saat. Besarnya tekanan dan beban dari angin tersebut tergantung dengan lokasi bangunan dan *elevasi* atau ketinggian dari bangunan.

Angin umumnya dianggap membebani secara tegak lurus terhadap bidang struktur baik berupa angin tekan (positif) maupun angin isap (negatif). Kecepatan angin umumnya dinyatakan dalam gaya per satuan luas ( $FL^{-2}$ ), misalnya  $40 \text{ kg/m}^2$ .

Kecepatan angin tersebut sekaligus sebagai ukuran kuantitatif besar-kecilnya beban angin. Terdapat koefisien tekanan angin untuk bidang-bidang yang mempunyai sudut tertentu terhadap bidang datar.

#### **d. Beban Gempa**

Beban gempa adalah seluruh beban yang diterima bangunan sebagai akibat dari pergerakan tanah oleh gempa bumi. Gempa bumi yang terjadi akan mengakibatkan tanah bergetar dan bangunan akan ikut bergoyang-goyang. Goyangan yang dialami bangunan pada saat gempa inilah yang dianalogikan sebagai adanya beban horizontal dinamik yang bekerja pada bangunan tersebut. Efek beban dinamik terhadap bangunan kemudian disederhanakan menjadi beban ekuivalen statik yang bekerja pada massa bangunan yang bersangkutan.

Dalam perencanaannya, perhitungan beban gempa pada bangunan betingkat dihitung berdasarkan SNI 1726-2012 dengan asumsi beban statik ekuivalen. Beban statik ekuivalen diartikan sebagai suatu representasi dari beban gempa pada tanah dasar bangunan (*Share Base*) yang diterima bangunan kemudian disederhanakan dan dimodifikasi dimana gaya inersia yang bekerja akibat gempa disederhanakan menjadi beban ekuivalen statis.

Dengan kata lain, beban statik ekuivalen adalah beban yang sama besar (*equivalent*) dengan beban gempa yang membebani bangunan dalam batas-batas tertentu.

#### **2.2.4 Peraturan yang digunakan**

Peraturan atau standar yang merupakan aturan telah dibuat telah melalui proses pengujian untuk memastikan kelayakan standar dapat dipakai dalam merencanakan dan mendesain suatu konstruksi. Peraturan yang dimaksud digunakan sebagai acuan, batasan dan dasar dalam merencanakan suatu konstruksi, baik konstruksi bangunan, jembatan, bendungan dan lain sebagainya

Dalam merencanakan rumah bertingkat tahan gempa ini, peraturan yang digunakan yaitu:

- a. SNI-7971-2013 tentang Struktur Baja Canai Dingin sebagai dasar perencaan material elemen konstruksi bangunan.
- b. SNI-1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Strultur Lain sebagai dasar teori dalam menentukan besaran muatan dalam konstruksi bangunan.
- c. SNI-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung sebagai dasar acuan perencanaan konstruksi bangunan tahan gempa.
- d. Dan literatur penunjang lainnya.

